

TOPIK 10

TOKSIKOLOGI PENCEMAR UDARA

1. Pendahuluan

Pencemaran udara menurut Peraturan Pemerintah RI no 41/1999 tentang pengendalian pencemaran udara ialah masuknya atau dimasukkannya zat, atau energi, dan/atau komponen lain kedalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Kontaminan kimia udara atau faktor pencemaran udara adalah kehadiran satu atau beberapa substansi kimia di atmosfer yang dapat membahayakan kesehatan. Kontaminan ini yang bisa terbentuk dari proses natural terbentuknya ozon pada sambaran petir atau debu yang tertiuip angin. Selain dari proses salami kontamina udara juga dapat terbentuk dari aktivitas manusia seperti aktivitas industri.

2. Klasifikasi Kontaminan

Terdapat berbagai jenis kontaminan udara di tempat kerja dimana jenis bahan kimia yang teresap ke udara sangat tergantung pada material yang digunakan di tempat kerja tersebut dan proses operasi yang berjalan. Klasifikasi kontaminan udara dapat dilakukan berdasarkan klasifikasi secara umum dan klasifikasi berdasarkan proses pembentukannya.

Klasifikasi kontaminan diudara secara umum , pada dasarnya dapat dibagi menjadi 2 kelas besar adalah sebagai berikut:

a. Aerosol (partikel) yaitu setiap sistem titik-titik cairan atau debu yang mendispersi diudara yang mempunyai ukuran demikian lembutnya sehingga kecepatan jatuhnya mempunyai stabilitas cukup sebagai suspensi diudara. Perlu diingat bahwa partikel-partikel debu selalu berupa suspensi.

1) Partikel dapat diklasifikasikan:

- Debu diudara (airbon dust) adalah suspensi partikel benda padat diudara . Butiran debu ini dihasilkan oleh pekerjaan yang berkaitan dengan gerinda, pemboran dan penghancuran pada proses pemecahan bahan-bahan padat. Ukuran besarnya butiran-butiran tersebut sangat bervariasi mulai yang dapat dilihat oleh mata telanjang ($> 1/20$ mm) sampai pada tidak kelihatan. Debu yang tidak kelihatan berada diudara untuk jangka waktu tertentu dan hal ini membahayakan karena bisa masuk menembus kedalam paru-paru.
- Kabut (mist) adalah sebaran butir-butir cairan diudara. Kabut biasanya dihasilkan oleh proses penyemprotan dimana cairanh tersebar, terpercik atau menjadi busa partikel buih yang sangat kecil.

Contoh :

- a. Mist minyak selama proses pemotongan dan pengamplasan
- b. Mist asam dari proses elektoplasting
- c. Mist spray cat

d. Kondensasi uap air yang menghasilkan hujan

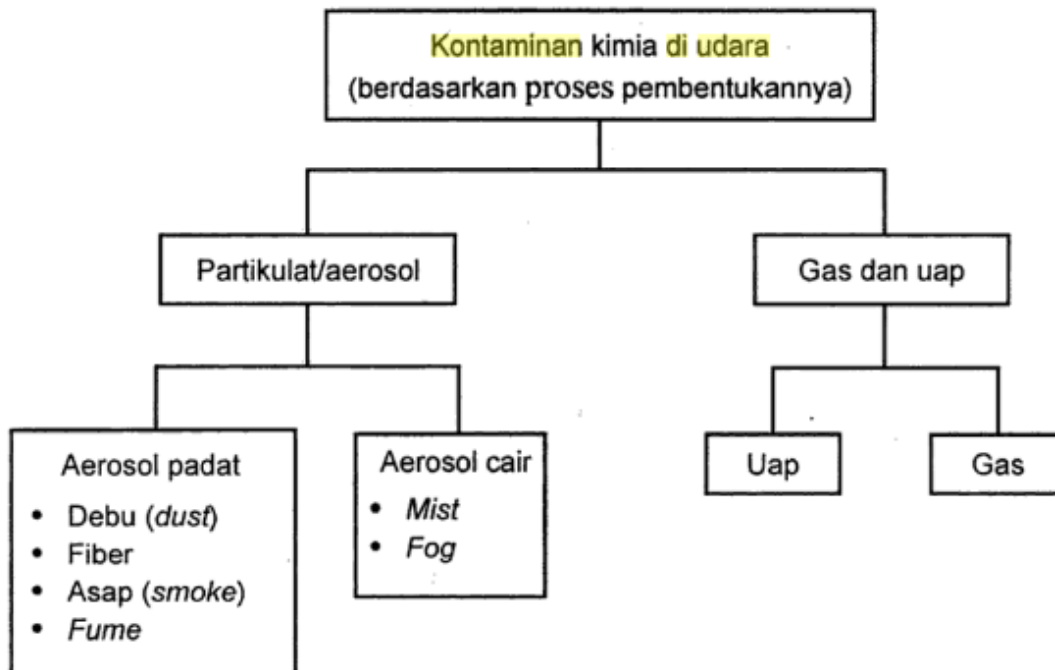
- Asap (fume) adalah butiran-butiran benda padat hasil kondensasi bahan-bahan dari bentuk uap. Asap ini biasanya berhubungan dengan logam di mana uap dari logam terkondensasi menjadi butiran-butiran padat di dalam ruangan logam cair tersebut. Asap juga ditemui pada sisa pembakaran tidak sempurna dari bahan-bahan yang mengandung karbon, karbon ini mempunyai ukuran lebih kecil dari 0,5 m (micron)
- Fiber adalah Fibers: adalah jenis aerosol padat yang berbentuk serat. Serat berbahaya, seperti asbes dan fiberglass, sering hadir di udara selama pemeliharaan dan pembongkaran bangunan di mana bahan telah digunakan sebagai bahan penyekat

2) Non Partikel dapat diklasifikasikan:

- Gas adalah Bahan seperti oksigen, nitrogen, atau karbon dioksida dalam bentuk gas pada suhu dan tekanan normal, dapat dirubah bentuknya hanya dengan kombinasi penurunan suhu dan penambahan tekanan.

Gas yang sering dihasilkan dalam proses industri :

1. Chlorin pada water treatment plant
 2. H₂S pada saluran pembuangan atau pengolahan limbah cair
 3. N₂O pada anestesi dan gas buangan diesel
 4. Ammonia pada pabrik refrigerator
 5. Hidrogen sianida pada fumigasi biji bijian
 6. Etilen oksida pada mesin sterilisasi rumah sakit
 7. Karbon monoksida pada pembakaran tidak sempurna
 8. Ozon pada fotocopy dan mesih las.
- Uap Air (Vapor) adalah bentuk gas dari cairan pada suhu dan tekanan ruangan cairan mengeluarkan uap, jumlahnya tergantung dari kemampuan penguapannya. Bahan-bahan yang memiliki titik didih yang rendah lebih mudah menguap dari pada yang memiliki titik didih yang tinggi. Senyawa kimia organik merupakan sumber vapour terbesar dalam industri. Sebagai material mengalami proses penyubliman langsung dari bentuk padanya, seperti naphtalen dan paradichlorobenzene (deodorant).



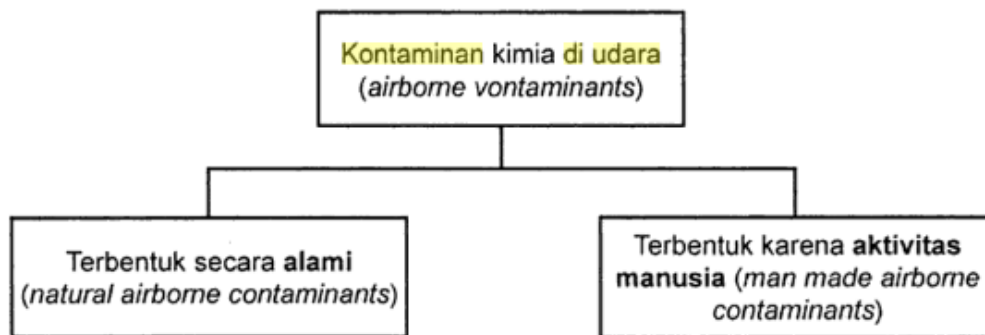
Gambar 1. Kontaminan Kimia Di Udara secara umum

Tabel 1-1. Kontaminan kimia udara dan industri atau proses yang menghasilkannya.

Tipe Kontaminan Udara	Contoh	Industri/Proses
Gas	CO, H ₂ S, klorin	Pembuatan baja, pengolahan limbah, pembuatan NaOH
Vapor	Uap pelarut cat, hidrokarbon terklorinasi	Pengecatan dengan cara <i>spray</i> , pelarut untuk menghilangkan lemak (<i>solvent degreasing</i>), <i>dry-cleaning</i>
Dust termasuk fiber	Debu silika, debu batubara, debu tepung, asbestos	Konstruksi dan industri pertambangan, agrikultur
Fume	Fume logam, fume pengelasan	Peleburan logam, pengelasan, pengecoran logam
Smoke	Emisi dari pemanas batubara	Pabrik baja
Mist	Mist asam/basa, mist pelapis krom, mist pestisida	Pre-treatment pada logam, electroplating, <i>spray</i> ke udara

Selain diklasifikasikan secara umum, kontaminan udara juga dapat diklasifikasikan berdasarkan proses pembentukannya, yang dapat diklasifikasikan menjadi 2 kelompok besar yaitu:

- 1) Terbentuknya secara natural, contohnya adalah ozo yang terbentuk melalui reaksi fotokimia di udara saat terjadinya petir, aktifitas gunung merapi yang melepas HF, H₂S dll. Kontaminan udara yang terbentuk secara alami biasanya mempunyai konsentrasi yang rendah sehingga mudah ternetralisir.
- 2) Terbentuknya karena ada aktifitas manusia, contohnya kontaminan kimia yang dihasilkan oleh industri.



Gambar 1-2. Klasifikasi kontaminan kimia di udara berdasarkan proses pembentukannya.

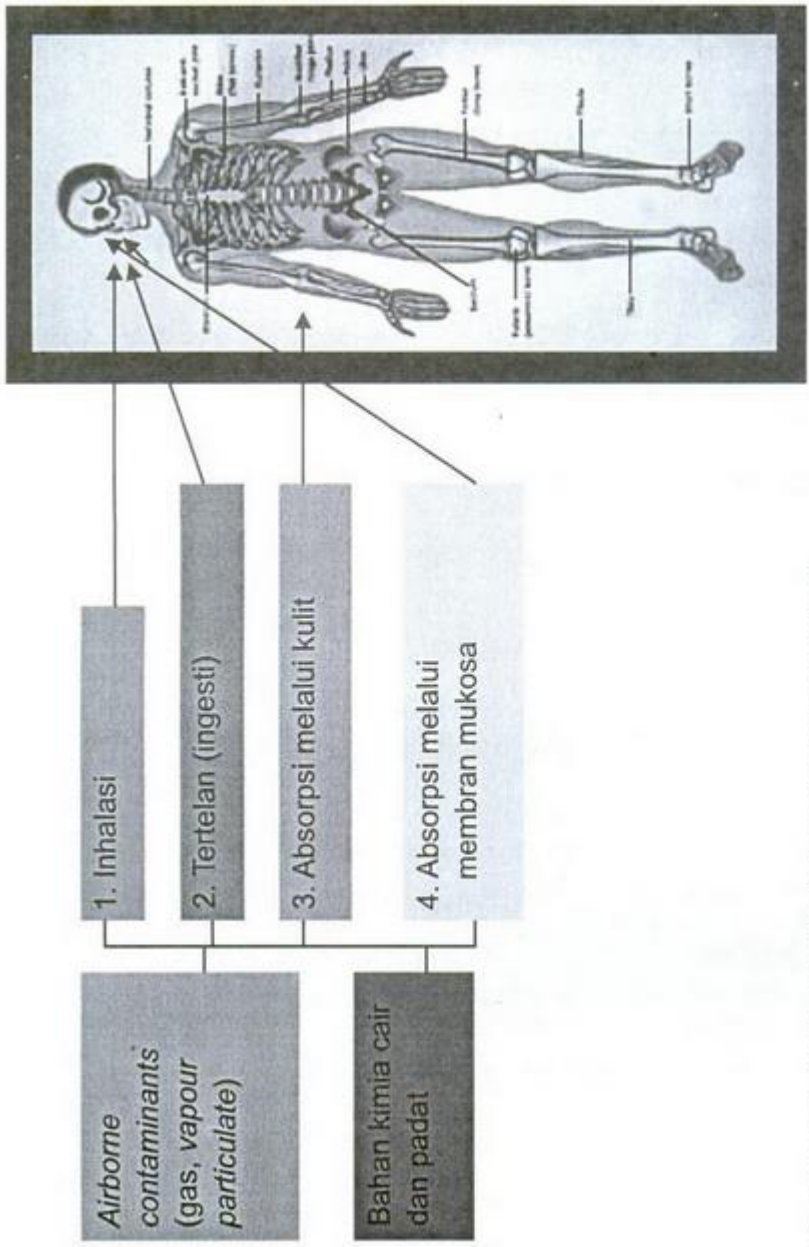
3. Rute Masuknya Kontaminan Udara

Rute Masuknya kontaminan kimia, baik yang berupa kontaminan kimia di udara maupun kontaminan yang berada dalam bentuk asalnya cairan atau padatan, secara umum masuknya kedalam tubuh manusia pada dasarnya dapat dibagi menjadi empat jalur, yaitu:

- 1) Melalui jalur inhalasi
- 2) Melalui jalur oral
- 3) Absorpsi melalui kulit
- 4) Absorpsi melalui membran mukosa

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat keparahan kontaminan kimia di udara jika terhirup manusia, antara lain adalah:

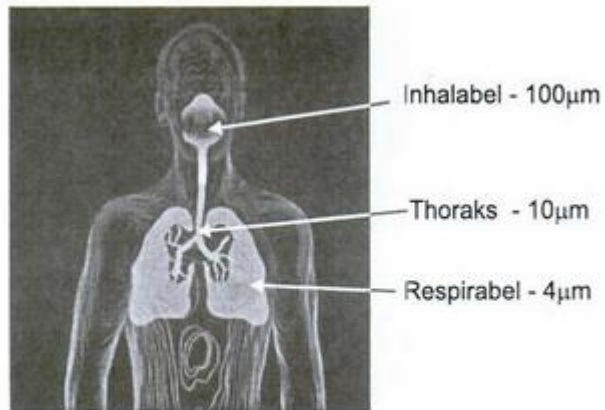
- 1) Ukuran partikel
- 2) Kelarutan yaitu kemampuan untuk terlarut dalam cairan pada jaringan (*Ability to dissolve in tissue fluids*)
- 3) Reaktifitas yaitu kemampuan untuk bereaksi dengan komponen jaringan
- 4) Kondisi pajanan seperti konsentrasi dan lamanya pajanan
- 5) Mekanisme pertahanan pada sistem pernafasan
- 6) Status imunologis
- 7) Kandungan air dari jaringan



Gambar 2-1. Route of entry (rute masuknya kontaminan).

4. Lokasi Partikulat Terdeposit

Partikulat dapat terdeposit pada bagian system pernapasan manusia sangat bergantung salah satunya pada ukuran partikulat tersebut. Partikulat dengan ukuran $\geq 100 \mu m$ terdeposit pada bagian hidung dan disebut sebagai inhalable particle, sedangkan partikulat dengan ukuran $> 4-10 \mu m$ terdeposit pada bagian toraks dan disebut sebagai *thoracic particle*, dan partikulat dengan ukuran $< 4 \mu m$ terdeposit pada bagian paru dan disebut sebagai partikel respirable.



Gambar 2-4. Lokasi partikulat terdeposit (Sumber: SKC).

Tabel 2-6. Proses kerja yang berpotensi menghasilkan partikulat dan efek toksiknya (Sumber: Winder, 2005).

Partikulat	Sumber	Efek Toksik/Penyakit Terkait
Asbestos	Pertambangan, pabrik yang menggunakan produk asbestos, konstruksi, kapal, dan gedung	Asbestos pleural plaques, kanker paru, mesotelioma
Debu dan abrasif aluminium	Pabrik yang menghasilkan dan menggunakan aluminium, keramik, cat, barang elektrik, kembang api, abrasif	Aluminosis, edema alveolar, fibrosis interstitial
Berilium	Pertambangan dan ekstraksi, manufaktur alloy, keramik	Beriliosis, edema paru, pneumonia, granulomatosis, kanker paru, kor pulmonale
Kadmium (oksida)	Pengelasan, manufaktur barang listrik, pigmen	Pneumonia, emfisema, kor pulmonale
Kromium [VI]	Manufaktur senyawaan kromium, pigmen, tanneries	Bronkitis, fibrosis, kanker paru
Debu batubara	Pertambangan batubara	Fibrosis, coal miners
Debu kapas	Manufaktur tekstil	Byssinosis
Oksida besi	Pertambangan hematite mining, produksi besi dan baja, pengelasan	Siderosis, fibrosis difus-menyserupai pneumoconiosis
Kaolin	Pottery manufacture	Kaolinosis, fibrosis
Mangan	Produksi alloy, industri kimia	Manganisme, pneumonia mangan
Nikel	Pertambangan nikel, electroplating	Edema paru, kanker paru, kanker rongga hidung
Silika	Pertambangan, pemotongan batu, konstruksi, sandblasting	Silikosis, fibrosis, silikatuberkulosis
Talk	Industri karet, kosmetik	Talkosis, fibrosis
Tantalum karbida	Manufaktur dan penajaman alat potong	Hard metal disease, hiperplasia epitel bronkial, fibrosis
Tin	Pertambangan, produksi tin	Stanosis
Tungsten carbide	Manufacture and sharpening of cutting tools	Hard metal disease, hiperplasia epitel bronkial, fibrosis

5. Partikel Pencemar Udara

Pencemaran udara disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia, baik kegiatan rumah tangga (pembakaran sampah), kegiatan industri (asap dari cerobong pabrik), maupun kegiatan pertanian (penyemprotan insektisida). Kebakaran hutan juga merupakan bentuk lain polusi udara. Asap rokok dan asap dari kendaraan bermotor juga merupakan sumber pencemaran udara. beberapa jenis polutan pencemaran udara, yaitu:

a) Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) merupakan gas pencemar udara yang beracun dan berbahaya bagi tubuh. Gas ini dapat berikatan dengan hemoglobin dalam tubuh sehingga pengikatan oksigen oleh darah menjadi terganggu. Keadaan ini dapat menimbulkan sakit kepala (pusing), mual-mual, mata berkunang-kunang, dan lemas. Dalam kadar tinggi dapat menyebabkan kematian.

b) Karbon Dioksida (CO₂)

CO₂ diperlukan oleh tumbuhan dalam proses fotosintesis. Tetapi jika jumlah CO₂ di udara terlalu banyak, CO₂ tersebut akan naik ke atmosfer dan menghalangi pemancaran panas dari bumi sehingga panas dipantulkan kembali ke bumi. Akibatnya, bumi menjadi sangat panas. Peristiwa ini disebut efek rumah kaca (pemanasan global). Pemanasan global ini dapat mengakibatkan bahaya kekeringan yang hebat yang mengganggu kehidupan manusia dan mencairnya lapisan es di daerah kutub. Gas karbon dioksida ini berasal dari asap pabrik, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan asap kendaraan bermotor. Selain itu, efek rumah kaca juga dipicu oleh hasil pembakaran fosil (batu bara dan minyak bumi) yang berupa hasil buangan bentuk CO₂ dan sulfur belerang.

c) Hidrokarbon (HC) dan Nitrogen Oksida (NO)

HC dan NO yang dipengaruhi oleh sinar matahari akan membentuk smog yang berupa gas yang sangat pedih jika mengenai mata dan juga sebagai penyebab penyakit kanker.

d) Sulfur Oksigen (SO)

SO yang bereaksi dengan uap air di udara dapat menyebabkan hujan asam.

e) Chloro Flouro Carbon (CFC)

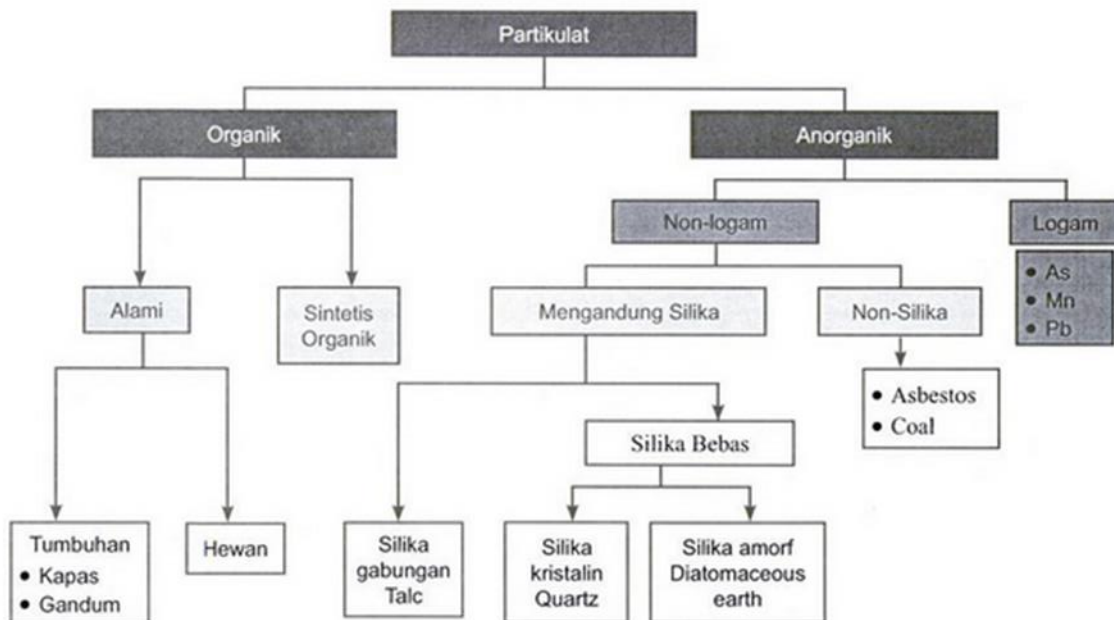
Gas CFC merupakan gas yang sukar terurai sehingga sulit dihilangkan dari udara. Gas ini tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak beracun. Gas ini banyak digunakan sebagai bahan pengembang busa, pendingin (lemari es dan AC), serta bahan penyemprot (hair spray dan parfum). Di lapisan atas atmosfer, gas ini bereaksi dengan lapisan ozon. Ozon adalah lapisan yang melindungi bumi dari sinar ultraviolet. Reaksi antara CFC dan ozon akan membentuk lubang ozon. Dari lubang ini, sinar ultraviolet akan menembus bumi. Sinar

ultraviolet ini dapat menyebabkan penyakit kanker kulit, berkurangnya kekebalan tubuh, dan matinya algae yang dapat merusak ekosistem laut.

f) Partikel

Partikel merupakan polutan yang dapat bersama-sama dengan bahan atau bentuk pencemar lainnya. Partikel yang dapat masuk dalam saluran pernapasan adalah partikel yang berukuran 10 mikrometer. Partikel dapat berupa:

- Aerosol (partikel) yang terhambur dan melayang di udara;
- Fog (kabut) yang merupakan aerosol berupa butiran air di udara;
- Dust (debu) atau aerosol yang berupa butiran padat yang melayang di udara karena tiupan angin;
- Smoke (asap) yang merupakan aerosol campuran antara butiran padat dan cair yang melayang di udar.
- Mist, mirip kabut, berupa butiran zat cair, terhambur, dan melayang udara;
- Plume, asap dari cerobong pabrik;
- Smog, campuran smoke dan fog;
- Fume, aerosol dari kondensasi uap logam



Gambar 2-2. Klasifikasi partikulat (Sumber: Winder, 2005).

Klasifikasi partikulat atau aerosol pada dasarnya dapat dibagi menjadi dua klasifikasi besar yaitu anorganik dan organik. Partikulat organik dapat disubklasifikasikan

lagi menjadi dua yaitu partikulat organik yang berasal dari alam dan partikulat organik yang dibuat oleh manusia (sintesis organik). Partikulat anorganik dapat dibagi menjadi dua yaitu anorganik non-logam dan anorganik logam.

6. Dampak dari Kontaminan Udara

Berikut adalah dampak dari zat-zat atau substansi yang mengkontaminasi udara sebagai berikut:

- 1) Iritasi adalah diartikan suatu keadaan yang dapat menimbulkan bahaya apabila tubuh kontak dengan bahan kimia. Bagian tubuh yang terkena biasanya kulit, mata dan saluran pernapasan.
 - a. Iritasi melalui kulit, apabila terjadi kontak antara bahan kimia tertentu dengan kulit, bahan itu akan merusak lapisan yang berfungsi sebagai pelindung, sehingga kulit menjadi kering, kasar dan luka. Keadaan ini disebut dermatitis (peradangan kulit).
 - b. Iritasi melalui mata kontak yang terjadi antara bahan-bahan kimia dengan mata bisa menyebabkan rusaknya mulai yang ringan sampai kerusakan permanen. Tingkat keparahan dari kerusakan tersebut tergantung dosis (jumlah) dan kecepatan penanggulangan P3K. Sebagai contoh bahan kimia yang menyebabkan iritasi mata ialah asam dan alkali dan bahan-bahan pelarut.
 - c. Saluran pernapasan iritasi oleh karena bahan-bahan kimia berupa bercak-bercak cair, gas atau uap akan menimbulkan rasa terbakar apabila terkena pada daerah saluran pernapasan bagian atas (hidung dan Kerongkongan). Pada umumnya hal ini terjadi disebabkan oleh bahan-bahan yang mudah larut seperti ammonia, formaldehid, sulfur oksida, asam dan alkalis yang diserap oleh lapisan lendir hidung dan kerongkongan.
- 2) Kekurangan zat asam (asphyxiation) istilah sesak napas dihubungkan dengan gangguan proses oksigensi dalam jaringan tubuh yaitu ada dua jenis: Simple asphyxiantion dan chemical asphyxiantion
 - a. Simple asphyxiation (sesak napas yang sederhana) karena ini berhubungan dengan kadar zat asam di udara yang digantikan dan didominasi oleh gas seperti nitrogen, karbon dioksida, ethane, hydrogen atau helium yang kadar tertentu mempengaruhi kelangsungan hidup. Udara normal biasanya mengandung 21% zat asam. Apabila kandungan zat asam turun dibawah 17%, maka jaringan tubuh akan mengalami kekurangan zat asam, sehingga menimbulkan gejala-gejala seperti pusing, mual dan kehilangan konsentrasi. Situasi seperti ini bisa terjadi dalam ruangan-ruangan kerja tertutup. Proses penurunan kadar zat asam secara terus-menerus bisa menyebabkan kehilangan kesadaran dan kematian.
 - b. Chemical asphyxiation (sesak napas karena bahan-bahan kimia). Pada situasi ini, bahan-bahan kimia langsung dapat mempengaruhi dan mengganggu kemampuan tubuh untuk mengangkut dan menggunakan zat asam, sebagai contoh adalah karbon monoksida. Pada konsentrasi 0.05% karbon monoksida di udara, dapat menurunkan kapasitas darah untuk

mengangkut zat asam ke sberbagai jaringan tubuh. Contoh lain adalah pengaruh racun dari hydrogen sanida atau hydrogen sulfida. Bahan-bahan ini mengganggu kemampuan dari sel-sel tubuh untuk menerima zat asam, meskipun darahnya kaya akan zat asam.

- 3) Kehilangan kesadaran dan mati rasa. Paparan terhadap konsentrasi yang relatif tinggi dari bahan kimia tertentu seperti ethyl dan prophyll alcohol (aliphatic alcohol), dan methylethyl keton (aliphatic keton), acetylene hydrocarbon ethyl dan isoprophyl ether, dapat menekan susunan syaraf pusat. Bahan –bahan kimia tersebut akan mengakibatkan efek yang sama seperti dalam keadaan mabuk. Paparan pada konsentrasi yang tinggi bisa menimbulkan kehilangan kesadaran, bahkan bisa mematikan.
- 4) Keracunan Tubuh manusia memiliki sistem yang kompleks. Keracunan sistemika dihubungkan dengan reaksi dari salah satu sistem atau lebih dari tubuh terhadap bahan-bahan kimia yang mana reaksi ini merugikan dan dapat menyebar keseluruh tubuh. Pengaruhnya tidak seperti local pada salah satu bahagian atau daerah dari tubuh. Salah satu fungsi organ hati adalah membersihkan bahan-bahan beracun dari dalam darah serta mengubahnya menjadi bahan-bahan yang aman dan dapat larut dalam air sebelum dibuang. Namun demikian ada beberapa bahan kimia yang merusak organ hati. Tergantung dari dosis (jumlah) dan kekerapan dari paparan, kerusakan yang terjadi terus menerus pada jaringan hati akan mengakibatkan terjadinya penurunan fungsi hati. Cedera hati bisa disebbkkan oleh bahan kimia seperti bahan pelarut (alcohol, karbon tetraklorida, trikloro ethylene, kloroform) dan hal ini bisa salah diagnosa sebagai hepatitis, sebagaimana gejala-gejolak kulit dan mata berwarna kekuning-kuningan yang diakibatkan oleh bahan-bahan kimia tersebut, mempunyai efek yang sama yang terjadi pada hepatitis. Bahan kimia yang mencegah ginjal dari pembuangan hasil-hasil bahan beracun meliputi karbon tetraklorida, karbon disulfida, bahan kimia lainnya seperti kadmium, timbal, turpentine, methanol, toluene dan xylene akan secara perlahan mengganggu fungsi ginjal.
- 5) Kanker Paparan bakan-bahan kimia tertentu bisa menyebabkan pertumbuhan sel-sel yang tidak terkendali, menimbulkan tumor (benjolan-benjolan) yang bersifat karsinogen. Tumor tersebut mungkin baru muncul setelah beberapa tahun bevariansi antara 4 tahun sampai 40 tahun. Bahan kimia seperti arsenic, asbestos, chromium, nikel dapat menyebabkan kanker paru-paru, Kanker rongga hidung dan sinus disebabkan oleh chromium, isopropyl oils, nikel, debu kayu dan debu kulit. Kanker kandungan kencing erat hubungannya dengan kepajanan terhadap benzidine, 2-naphthyllamine dan debu kulit. Kanker sumsum tulang belakang disebkan oleh benzene.
- 6) Paru-paru kotor (pneumoconiosis) adalah suatu keadaan yang disebabkan oleh mengendapnya partikel-partikel debu halus daerah pertukaran gas dalam paru-paru dan adanya reaksi dari jaringan paru. Dengan adanya pneumoconiosis kemampuan paru-paru untuk menyerap zat asam akan menurun dan korbannya akan mengalami/merasakan napas yang pendek pada saat melakukan jenis pekerjaan yang berat. Pengaruh ini sifatnya menetap . Contoh bahan-bahan

yang menyebabkan pneumoconiosis adalah crystalline silica, asbestos, talc, batubara dan beryllium.

7. Pengendalian Pencemar udara

Pengendalian adalah satu diantara bagian dari manajemen. Pengendalian dikerjakan dengan maksud agar apa yang sudah direncanakan bisa dikerjakan dengan baik hingga bisa meraih tujuan ataupun maksud yang menginginkan diraih. Pengendalian Bahaya Di Tempat Kerja yaitu sistem yang dikerjakan oleh lembaga atau perusahaan dalam meraih maksud supaya beberapa pekerja di lembaga atau perusahaan bisa hindari kemungkinan kesibukan yang bisa punya potensi menyebabkan cedera dan penyakit akibat kerja sebagai maksud awal dari satu perusahaan. Hirarki pengendalian (hierarchy of control) adalah satu diantara hal yang begitu di perhatikan. Penentuan hirarki pengendalian memberi faedah dengan cara efektifitas dan efisiensi hingga kemungkinan alami penurunan dan jadi kemungkinan yang dapat di terima (acceptable risk) bagi satu organisasi. Dengan cara efektifitas, hirarki control pertama dipercaya memberi efektifitas yang lebih tinggi dibanding hirarki yang ke-2. Hirarki pengendalian ini mempunyai dua basic pemikiran dalam turunkan kemungkinan yakni melalui turunkan probabilitas kecelakaan atau paparan dan turunkan tingkat keparahan satu kecelakaan atau paparan.

Pada ANSI Z10 : 2005, hirarki pengendalian dalam system manajemen keselamatan, kesehatan kerja diantaranya :

a) Eliminasi.

Hirarki paling atas yakni eliminasi/menyingkirkan bahaya dikerjakan ketika design, maksudnya yaitu untuk menyingkirkan peluang kekeliruan manusia dalam menggerakkan satu system karena ada kekurangan pada design. Penghapusan bahaya adalah cara yang paling efisien hingga bukan sekedar memercayakan perilaku pekerja dalam hindari kemungkinan, akan tetapi, penghilangan betul-betul pada bahaya tidak selamanya praktis dan ekonomis.

b) Substitusi

Cara pengendalian ini mempunyai tujuan untuk ganti bahan, sistem, operasi maupun perlengkapan dari yang beresiko jadi lebih tak beresiko. Dengan pengendalian ini turunkan bahaya dan kemungkinan minimum lewat disain system maupun design lagi. Sebagian contoh aplikasi substitusi umpamanya : System otomatisasi pada mesin untuk kurangi hubungan mesin-mesin beresiko dengan operator, memakai bahan pembersih kimia yang kurang beresiko, kurangi kecepatan, kemampuan dan arus listrik, ganti bahan baku padat yang menyebabkan debu jadi bahan yang cair atau basah.

c) Pengendalian Teknis

Pengendalian dengan cara teknis yaitu pengendalian yang ditunjukan pada sumber bahaya atau lingkungan, seperti :

- Substitusi yakni menukar beberapa bahan yang beresiko dengan beberapa bahan yang kurang atau tak beresiko sekalipun.

- Isolasi, yakni memisahkan satu sumber bahaya dengan pekerja, umpamanya pengadaan ruangan panel, larangan masuk tempat kerja bagi yg tidak mempunyai urusan, tutup unit operasi yang beresiko.
- Cara basah, ditujukan untuk menghimpit jumlah partikel yang mengotori hawa karena partikel debu alami berat.
- Mengubah sistem, umpamanya pada sistem kering dirubah jadi sistem basah untuk hindari debu.
- Ventilasi keluar setempat (lokal exhaust ventilation), yakni satu cara yang bisa mengisap beberapa bahan beresiko sebelumnya bahan beresiko itu masuk keudara ruangan kerja.

Pengendalian ini dikerjakan mempunyai tujuan untuk memisahkan bahaya dengan pekerja dan untuk menghindar terjadinya kekeliruan manusia. Pengendalian ini terpasang dalam satu unit system mesin atau perlengkapan.

d) System peringatan/warning system

Yaitu pengendian bahaya yang dikerjakan dengan memberi peringatan, instruksi, sinyal, label yang akan membuat orang siaga akan ada bahaya dilokasi itu. Sangat penting bagi kebanyakan orang tahu dan memerhatikan sinyal tanda peringatan yang ada dilokasi kerja hingga mereka bisa menghadapi ada bahaya yang akan memberi efek padanya. Aplikasi didunia industri untuk pengendalian jenis ini diantaranya berbentuk alarm sistem, detektor asap, sinyal peringatan (pakaian APD khusus, jalur evakuasi, ruang listrik tegangan tinggi, dan lain-lain).

e) Pengendalian Administrasi

Pengendalian dengan cara administratif yaitu beberapa ketentuan administrasi yang mengatur pekerja untuk membatasi saat kontaknya (pemaparan) dengan aspek bahaya atau contaminant.

Kontrol administratif diperuntukkan pengendalian dari sisi orang yang akan lakukan pekerjaan, dengan dikendalikan cara kerja diinginkan orang akan mematuhi, mempunyai kekuatan dan ketrampilan cukup untuk merampungkan pekerjaan dengan cara aman.

Jenis pengendalian ini diantaranya seleksi karyawan, ada standard operasi baku (SOP), kursus, pengawasan, modifikasi perilaku, jadwal kerja, perputaran kerja, pemeliharaan, manajemen pergantian, jadwal istirahat, investigasi atau kontrol kesehatan.

f) Alat Pelindung Diri

Alat Pelindung Diri yaitu seperangkat alat yang dipakai oleh tenaga kerja membuat perlindungan semua/beberapa badannya pada peluang ada potensi bahaya/kecelakaan kerja. APD digunakan sebagai usaha paling akhir dalam usaha melindungi tenaga kerja jika usaha rekayasa (engineering) dan

administratif tidak bisa dikerjakan dengan baik. Tetapi penggunaan APD tidaklah pengganti dari ke-2 usaha itu, tetapi sebagai usaha akhir.

Penentuan dan pemakaian alat pelindung diri adalah merupakan hal yang sekurang-kurangnya efisien dalam pengendalian bahaya, karena APD hanya berperan untuk kurangi seriko dari efek bahaya. Karena sifatnya hanya kurangi, butuh dijauhi ketergantungan hanya menggandakan alat pelindung diri dalam merampungkan tiap-tiap pekerjaan.

Maksud pemakaian Alat Pelindung Diri (APD) seperti : Melindungi tenaga kerja jika usaha rekayasa (engineering) dan administratif tidak bisa dikerjakan dengan baik., tingkatkan efektivitas dan produktivitas kerja, dan membuat lingkungan kerja yang aman.

Beberapa cara untuk mencegah pengontrolan udara, antara lain:

- a. Ventilasi biasa dibantu dengan kipas angin (fan) yang ditempatkan di tempat-tempat yang strategis untuk menyedot udara luar lebih bersih serta meniupkan udara yang tercemar ke arah yang tidak ada karyawan. Sedangkan di dalam ruang.pabrik skalabesar dipasang ventilator.
- b. Pemakaian pelindung pernafasan (respiratory protection) yang bersifat mekanis untuk karyawan-karyawan tertentu sehubungan dengan pekerjaannya.
- c. Cerobong-cerobong asap dengan atau tanpa alat penghisap (blower), keduanya tanpa saringan pembersih debu atau pencemar-pencemar gas.

Menurut OSHA , ada empat jenis APD pernafasan yang cocok digunakan di tempat kerja diantaranya:

- a. Particulate Respirator

Respirator ini hanya digunakan untuk melindungi pekerja dari bahaya paparan tingkat rendah (seperti debu, kabut, dan asap). Tidak cocok digunakan untuk melindungi pekerja dari paparan gas dan uap. Pada respirator jenis ini, filter menangkap partikel dari udara dengan metode penyaringan, sehingga udara yang melewati respirator menjadi bersih. Contoh dari *particulate respirator* adalah *disposable dust masks* dan respirator dengan *disposable filter*.



Gambar 3. Partikulat Respirator

b. Chemical Cartridge/ Gas Mask Respirator

Dikenal juga dengan nama air-purifying respirator. Jenis respirator ini menggunakan cartridge atau canister untuk menyerap gas dan uap di udara. Cartridge dan canister memiliki kemampuan serap yang tinggi pada awal penggunaan dan akan mengalami penurunan hingga akhir masa pakai (masa jenuh). Lama masa jenuh sangat tergantung dari konsentrasi uap atau gas di udara dan perawatan terhadap respirator tersebut. Cartridge atau canister harus diganti sebelum jenuh karena bisa berdampak pada kemampuan daya serap terhadap kontaminan.



Gambar 4. Gas Mask Respirator

c. **Powered Air-Purifying Respirator (PAPR)**

Jenis respirator ini menggunakan pompa udara untuk mendorong atau menarik udara menuju respirator atau penyaring. Agar bekerja dengan baik, baterai pada pompa atau blower udara harus terisi penuh. Untuk menggunakan respirator ini, pekerja harus memilih filter/ *cartridge* yang tepat agar pelindung pernapasan bekerja maksimal.



Gambar 5. Powered Air-Purifying Respirator (PAPR)

d. **Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA)**

Pelindung pernapasan ini sering digunakan oleh petugas pemadam kebakaran. SCBA menyimpan pasokan udara di dalam tangki yang menghasilkan oksigen, sehingga alat ini tidak memerlukan pasokan udara dari luar. SCBA biasanya digunakan pada area yang kontaminasi udaranya sangat tinggi. Juga, tangki udara biasanya hanya dapat digunakan selama satu jam atau kurang, tergantung rating tangki dan tingkat pernapasan pekerja.



Gambar 6. Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA)